

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA DYFUZJI PARY WODNEJ W UJĘCIU LOSOWYM*

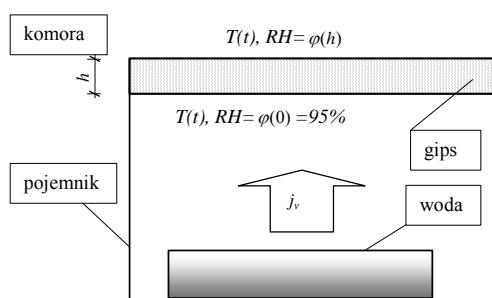
Andrzej MARYNOWICZ, Jadwiga ŚWIRSKA, Jerzy WYRWAŁ
Politechnika Opolska, Opole

1. Wprowadzenie

W równaniach transportu wilgoci w zakresie dyfuzyjnym podstawową wielkością opisującą zdolność materiału do przepuszczania wilgoci w fazie gazowej jest współczynnik dyfuzji pary wodnej D_v . W przypadku materiałów budowlanych współczynnik ten można wyznaczyć jedynie eksperymentalnie, gdyż uwzględnia on jednocześnie kilka różnych cech materiałowych, przez co mamy do czynienia ze współczynnikiem efektywnym, D_{eff} [1]. W eksperymencie mamy do czynienia z pomiarami kilku wielkości fizycznych oraz błędami pomiarowymi o różnym charakterze, mającymi przez to odmienny wpływ na wynik końcowy. Najczęściej do obliczeń przyjmuje się wartości uśrednione odpowiednich wielkości mierzonych. W pracy przedstawione zostanie symulacyjne podejście do interpretacji wyników pomiarów, bazujące na technice SBRA, z wykorzystaniem programu M-Star [2].

2. Metoda pomiaru

Najbardziej rozpowszechnioną techniką wyznaczania współczynnika dyfuzji pary wodnej jest metoda Wet-Cup [1, 3], pozwalająca określić ten współczynnik w przypadku stacjonarnym (rys.1).



Rys. 1. Zestaw pomiarowy Wet-Cup [3]
Fig. 1 The Wet-Cup setup [2]

* Praca powstała w ramach seminarium Katedry Fizyki Materiałów WB PO z termomechaniki

Pomiar polega tu na określeniu strumienia pary wodnej j_v , przepływającego przez próbkę badanego materiału umieszczoną wraz z naczyniem z wodą w komorze klimatycznej. W czasie badania pomiarowi podlegają ubytki masy zestawu Δm , na skutek odparowywania wody z naczynia, odczytywane w określonych przedziałach czasowych Δt , przez co strumień wyrazić można, w przypadku jednowymiarowym, za pomocą wyrażenia

$$j_v = \frac{\Delta m}{\Delta t A}, \quad (1)$$

gdzie A jest polem przekroju próbki. Wykorzystując najprostszy model przepływu dyfuzyjnego, bazujący na prawie Ficka, w postaci [4]

$$j_v = -\rho D_{eff} \frac{dc_v}{dx}, \quad (2)$$

oraz po przyjęciu, że mieszanina pary wodnej i powietrza ma cechy gazu doskonałego, czyli

$$c_v = \frac{p_{sat}}{\rho R_v T} \varphi, \quad (3)$$

otrzymamy po przekształceniach zależność pozwalającą wyznaczyć poszukiwany współczynnik za pomocą zestawu pomiarowego Wet-Cup, w postaci [3]

$$D_{eff} = \frac{h R_v T (\varphi(h) - \varphi(0))}{p_{sat}} \frac{m(t + \Delta t) - m(t)}{\Delta t A}. \quad (4)$$

W klasycznym podejściu współczynnik ten wyznacza się przyjmując wartości uśrednione zmierzonych wielkości. Do dalszych obliczeń przyjęto dane zestawione w tabelicy 1.

Tablica 1.

Wielkość	Wartość	Jednostka
A	$50,3 \cdot 10^{-4}$	m^2
R_v	461,5	J/kg/K
T	287,15	K
p_{sat}	1644	Pa
$\varphi(0)$	95	%
h	0,005	m

Pomiary wykonano na próbce gipsowej, dla której otrzymano odczyty uśrednione zestawione w tabelicy 2.

Tablica 2.

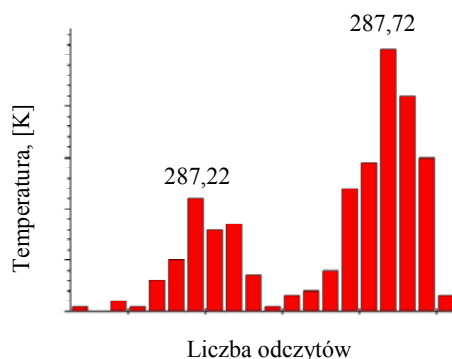
Wielkość	Wartość	Jednostka
Δm	0,03	g
\bar{T}	287,15	K
Δt	1260	s
$\bar{\varphi}(h)$	41,62	%

Dla powyższych danych współczynnik dyfuzji pary wodnej w gipsie ma, wg relacji (4) wartość

$$\bar{D}_{eff} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s} \quad (5)$$

3. Metoda symulacyjna SBRA

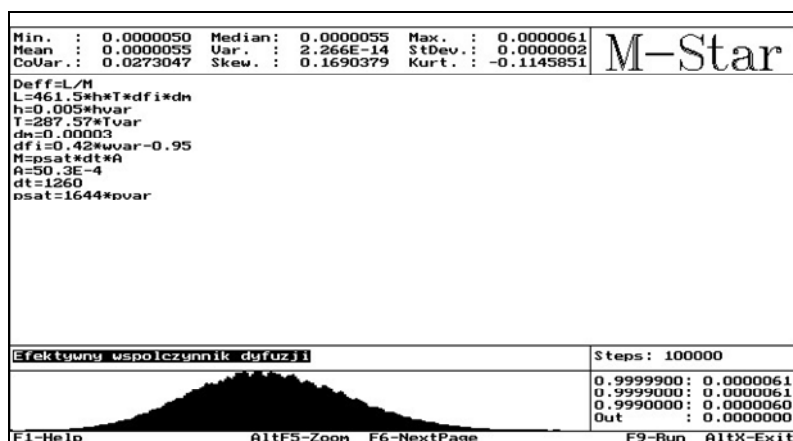
Wykorzystując technikę symulacyjną SBRA [2] można powyższe zagadnienie rozpatrzeć uwzględniając rzeczywistą zmienność mierzonych wielkości, traktując je jako zmienne losowe zamiast przyjmować wartości uśrednione. W tym celu należy w miejsce stałych wartości średnich wykorzystać rozkłady tych wielkości, uzyskane bezpośrednio z pomiarów, przedstawione w formie histogramów (np. rys 2.).



Rys. 2. Histogram odczytów temperatury, krok 0,05K.

Fig. 2 Temperature histogram, step 0,05K.

Technika symulacyjna SBRA bazuje na metodzie Monte Carlo [2], w której wykorzystuje się zamknięte rozwiązanie zagadnienia do wielokrotnego obliczenia poszukiwanej wielkości. W naszym przypadku w rozwiązaniu deterministycznym wyrażonym zależnością (4) przyjęto, że wielkościami zmiennymi, opisanymi z pomocą odpowiednich histogramów, są: wilgotność względna i temperatura w komorze klimatycznej oraz ciśnienie cząstkowe pary wodnej nasyconej i grubość próbki. Pozostałe wielkości przyjęto jak w tabeli 1 i 2. Rozrzut grubości próbki opisano rozkładem normalnym, zaś pozostałych wartości bezpośrednio na podstawie 270 odczytów z przyrządów pomiarowych.



Rys. 3. Wyniki symulacji w programie M-Star

Fig. 3 Simulation results from M-Star program

Dla tak przyjętych zmiennych otrzymano rozkład gęstości prawdopodobieństwa omawianego współczynnika dyfuzji (po 100 000 obliczeń) przedstawiony na rys. 3, dla którego otrzymano, z zadaniem prawdopodobieństwem $P=0,9999$, wartość maksymalną

$$D_{eff,max} = 6,1 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} \quad (6)$$

oraz wartość średnią

$$\bar{D}_{eff,MC} = 5,5 \cdot 10^{-6} \frac{m^2}{s} . \quad (7)$$

4. Wnioski

W pracy przedstawiono dwa podejścia do wyznaczania efektywnego współczynnika dyfuzji pary wodnej w materiale porowatym. W pierwszym, deterministycznym, przyjęto do obliczeń uśrednione wartości zmierzonych w eksperymencie wielkości, zaś w drugim wykorzystano technikę symulacyjną do „wylosowania” odpowiednich danych ze zbioru opisanego za pomocą histogramu uzyskanego z wyników pomiarów. Z porównania tych dwóch metod otrzymano dwa wyraźnie różniące się wyniki, przez co wydaje się niezbędnym przeanalizowanie w przyszłości sposobu doboru zmiennych w zadaniu.

Oznaczenie symboli

- c_v – koncentracja pary wodnej, water vapour concentration [$kg \cdot kg^{-1}$],
- R_v – stała gazowa pary wodnej, water vapour gas constant [$J \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
- ρ – gęstość wilgotnego powietrza, humid air density [$kg \cdot m^{-3}$],

Literatura

- [1] Garbalińska H.: Izotermiczne współczynniki transportu wilgoci porowatego materiału budowlanego, Wydawnictwa Politechniki Szczecińskiej, Szczecin 2002.
- [2] Marek P. i inni: Probabilistic assessment of structures using Monte Carlo simulation, 2nd ed., ITAM CAS CR Prague, Praga 2003.
- [3] Marynowicz A.: Analiza zawilgocenia materiałów i przegród budowlanych, Rozprawa doktorska, Opole 2005.
- [4] Wyrwał J.: Ruch wilgoci w porowatych materiałach i przegrodach budowlanych, WSI w Opolu, Studia i monografie z. 31, Opole 1989

RANDOM APPROACH FOR WATER VAPOUR DIFFUSION COEFFICIENT EVALUATION

Summary

The measurements of water vapour diffusion coefficient in porous materials generate many specific errors. In the paper two ways of this coefficient evaluation are compared: a classical one (deterministic) and one based on simulation method SBRA, with Monte Carlo approach.